

河川におけるDOシミュレーション

DO simulation on a river

研究第三部 主任研究員 中川 芳一
㈱建設技術研究所 大久保 秀一
リバーフロント研究所長 小池 達男

DOは水生生物の生息等への影響を直接表す水質指標となる。本稿では、水質からみた必要流量の設定の情報とするため、渇水時のDOのシミュレーションを行い、流量とDOとの関係について検討した。シミュレーションモデルとしてはQUAL2Eを用い、中国地方の一級河川である芦田川を対象として行った。

キーワード：DO、シミュレーション、水質予測、正常流量

Dissolved Oxygen (DO) is a water quality index which can indicate directly the impact of water quality on a inhabitation of aquatic organism. In this paper, DO simulation at times of water shortage is presented, and the relation between river discharge and DO is investigated to estimate necessary discharge for the preservation of desiable water quality. DO simulation used the QUAL2E model is carried out at the Ashidagawa River, a class A river located in the Chugoku region of Japan.

Key words : DO, simulation, water quality forecasting, normal discharge.

1. はじめに

正常流量は河川における流水の正常な機能を維持するために必要な流量であり、適正な河川管理のため設定される。正常流量の設定において考慮すべき事項の1つに流水の清潔の保持があり、河川水質を良好な水準に保つことが要求される。この河川水質を代表する水質指標として、従来からBOD（生物化学的酸素要求量）が用いられることが多かった。しかし、BODは有機汚濁の程度を表す指標であり、水悪化による生態系への支障を直接的に表示するものではない。このため、河川の生態系等への影響を表すことのできる水質指標が求められる。

DOは水中の溶存酸素量を表す指標であり、河川における生物の生息への影響を直接表す指標となる。溶存酸素の不足による魚貝類の酸欠死は水質事故として扱われ、特に貝類や卵、稚魚等の遊泳力の小さい水生生物にとって酸素不足は致命的である。また、自浄作用の確保等の水質環境の維持や利水にとっても溶存酸素は重要な項目となる。

このため、本稿では、水質からみた必要流量の設定の情報とするため、渇水時のDOのシミュレーションを行い、流量とDOとの関係等について検討した。シミュレーションモデルとしては米国のEPAを中心として開発されたQUAL2Eを用い、中国地方の一級河川である芦田川を対象としてシミュレーションを行った。

2. 水質シミュレーションモデル

2-1 QUAL2Eの概要

シミュレーションモデルとしてQUAL2Eを採用したのは以下の理由による。

- ・汎用性を持ったモデルの開発を目的として作成されたものである。
- ・ソースプログラムやドキュメントがインターネット上で公開されている。

- ・欧米を中心に適用事例が多くある。
- ・一般に公開されていることから機能の追加などのバージョンアップがさまざまな研究者によって行われている。

QUAL2Eは非線型の水質モデルであり、15の水質成分の中からユーザーが選んだ水質項目を計算することができる。15の水質成分とは、DO、BOD、水温、クロロフィルa、有機態窒素、アンモニア性窒素、亜硝酸性窒素、硝酸性窒素、無機態リン、溶解性リン、大腸菌群数、任意の非保存性物質、および3つの保存性物質である。モデルは支川も含めた河川網に対しての適用が可能である。物質の輸送に関しては縦断方向の移流と分散が考慮されている。また所定の溶存酸素レベルを達成するために必要な河川流量を計算することができる。

QUAL2Eは定常モデルとしても非定常モデルとしても使用できる。ただし、河川の流量や流入負荷量は定常条件での計算に限られ、非定常での計算はできない。非定常モデルでは、気温、日射量、風速等の気象データを非定常で与え、気象条件に対応した水質の日間変動等を計算するものである。

2-2 芦田川水質シミュレーションモデル

シミュレーションは中国地方の一級河川である芦田川の八田原ダムから河口堰までの44kmの区間を対象として行う。水質シミュレーション計算は1kmピッチで行うこととし、対象区間のモデル化を行った。設定したモデルを図-1に示す。

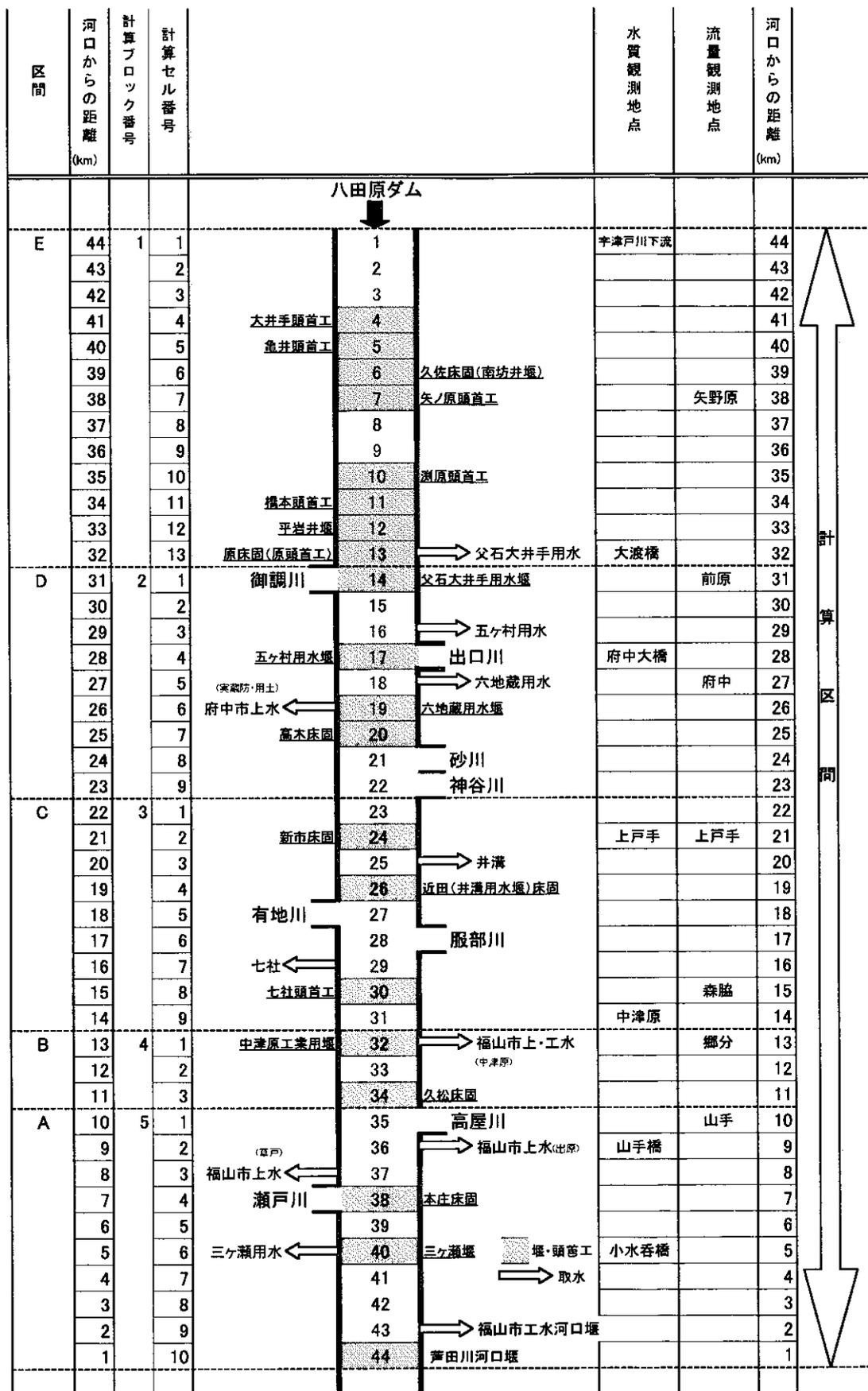


図-1 芦田川流域モデル

Fig.1 Model of the Ashidagawa River Basin

3. モデルの同定

本稿での計算目的は河川流量が低下した状況下におけるDOをシミュレートし、流量とDOとの関係を定量把握することである。このため、厳しい渇水であった平成6年7月を計算対象期間とし、モデルの同定を行った。

3-1 モデル定数の同定

モデル定数の同定は定常状態で行った。すなわち、平成6年7月の渇水時で河川縦断方向に同一日定期水質調査の実施されている7月13日を対象日として、当日の(日平均の)水文、気象条件のもとで、計算水質が実測水質に適合するよう試行計算により行った。定数同定後のシミュレーション結果を図-2に示す。定常状態では、おおむね実測結果を再現できた。

3-2 再現計算

定常状態で同定したモデル定数を使用し、気温、日射量、雲量、風速等の気象データを(時間単位の)時系列データで与えた非定常状態での再現計算を試みた。再現結果を図-3、図-4に示す。

非定常計算では助走期間を1週間ほど設け

たが、図-3から計算開始後3日程度で計算値は安定することが分かる。

水温の再現結果を見ると、日間の水温差はほぼ再現できているが、計算値は実測値より1~2℃程度高くなっている。DOについては、実測値が日中が9mg/l以上、夜間が4mg/l未満と昼夜で5mg/l以上の濃度差を呈しているのに対し、計算値は昼夜の濃度差が2mg/l程度にとどまっている。これは、植物プランクトンによる河川内での昼夜のDO生産・消費活動(主に光合成と呼吸)が十分再現されていないためと考えられる。

すなわち、植物プランクトンのDO生産・消費活動は湛水による滞留時間に影響されると考えられるが、本モデルは順流部を対象とした河川水質シミュレーションモデルであり、この影響を十分に表現できないため、DOの日間変動の再現が十分にはできなかつたと考えられる。

このように水温、DO濃度の値の再現性には問題があるが、当モデルにより水温、DOの日周変化の傾向を把握することは可能である。

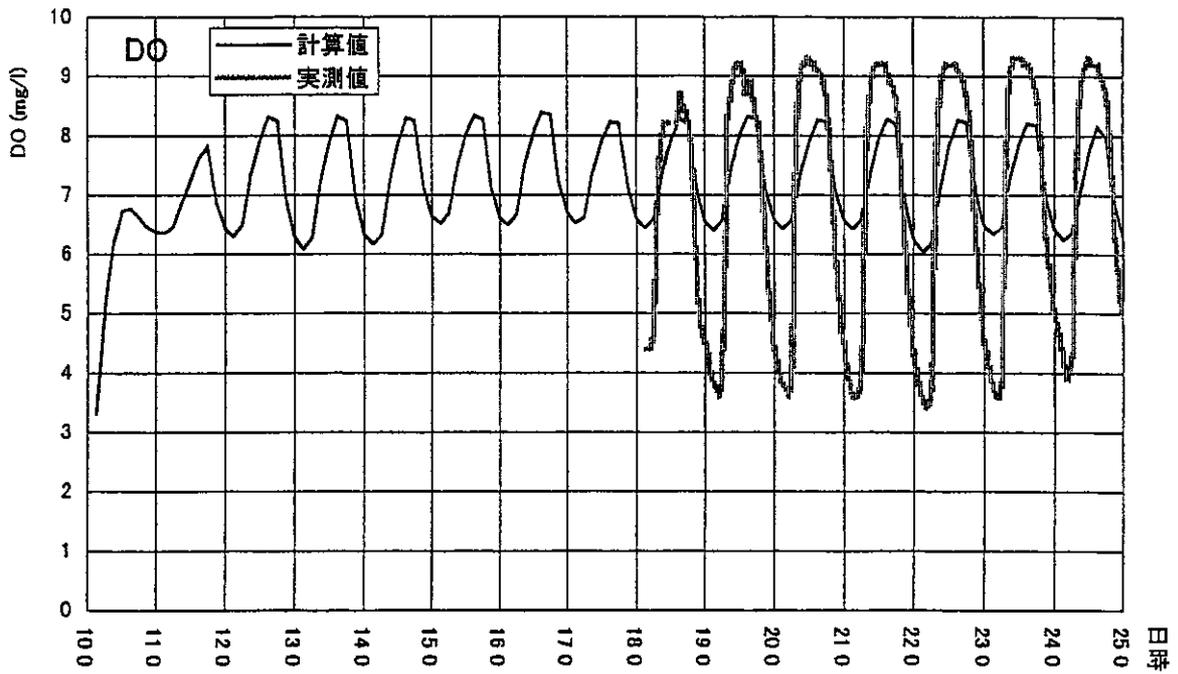
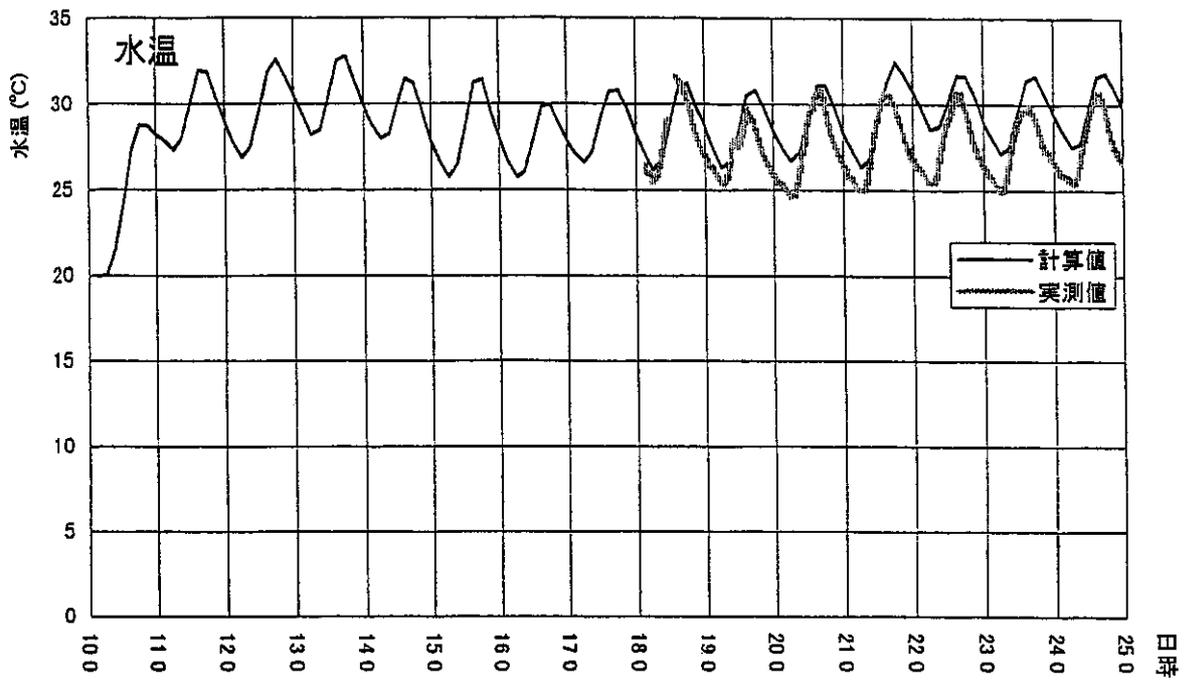


図-3 水温、DOの非定常モデルによる再現結果（上戸手地点）

Fig.3 Results of Unsteady State Simulation. Comparison of Observed and Calculated Water Temperature and DO Time Series at Kamitode

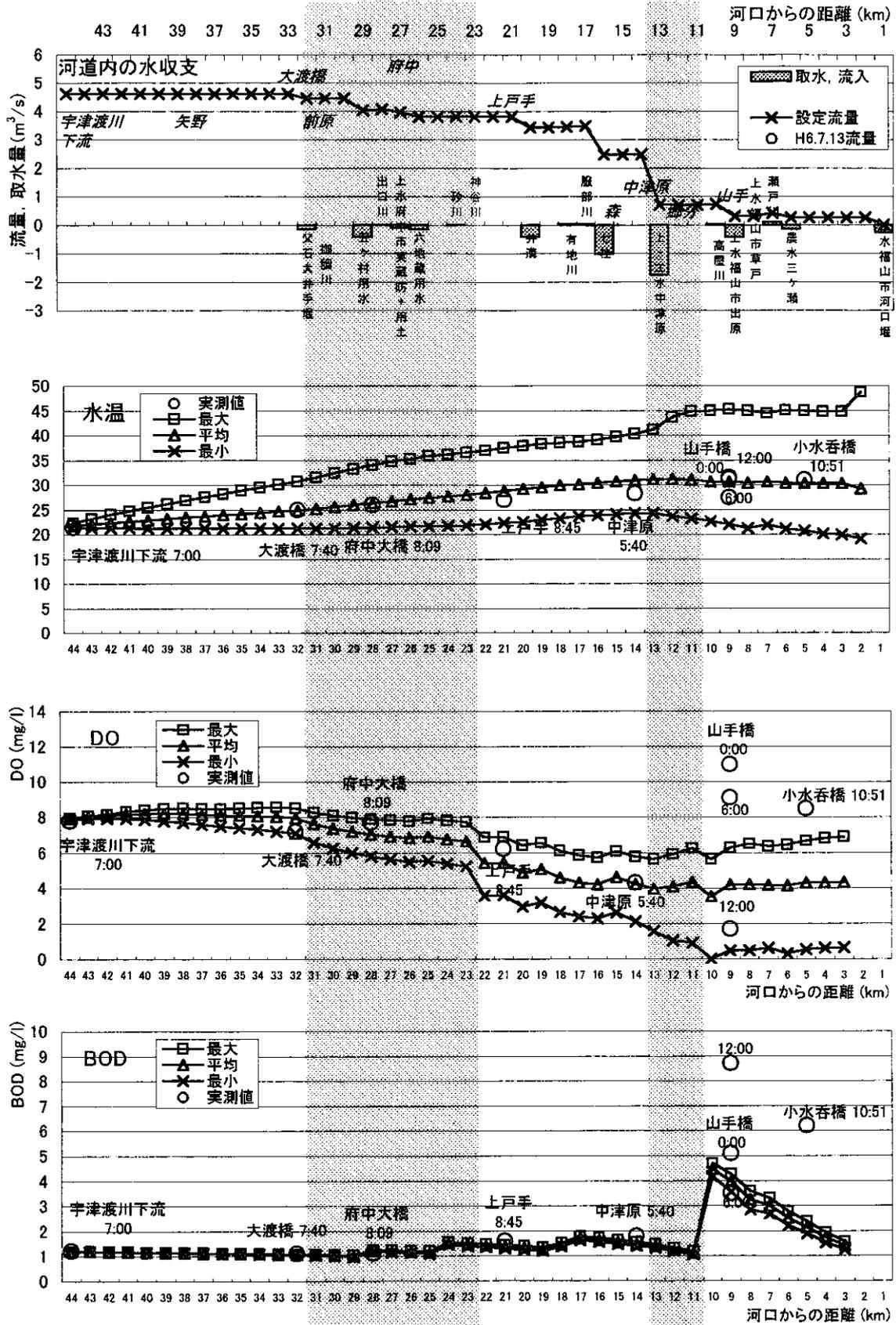


図-4 再現計算結果 (非定常計算)

Fig.4 Results of Unsteady State Simulation

4. 水質シミュレーション

3. で同定、検証したシミュレーションモデルにより、種々の上流の流量、水質条件のもとでの渇水時水質シミュレーションを行い、流量とDOの関係、流下に伴うDOの変化、水温変化のDOへの影響について検討した。

なお、本章での水質シミュレーションは、日平均水質の流量等の条件による変化の検討を目的として、再現性の良い定常状態で行なった。

4-1 上流流量条件による水質変化

上流端流量（八田原ダム放流量）を変化させた時の予測計算結果を図-5に示す。

17kmよりも上流部では流量が少ないほどDOが低くなり、DOと流量との間には相関がみられる。しかし、17kmよりも下流では流量が $3\text{ m}^3/\text{s}$ のとき一時的にDOが高くなる区間が存在する。これは、流量が少ないほど流下

過程における再曝気等の影響を大きく受けるためと考えられる。また、河口堰近くでは、流量が $3\text{ m}^3/\text{s}\sim 11\text{ m}^3/\text{s}$ の範囲で、流量が小さいほどDOが高くなっており、これは水中での植物プランクトンの生産活動が影響しているためと考えられる。すなわち、流量が小さいほど湛水域での滞留時間が長くなり、水中での植物プランクトンのDO生産活動が活発となるためと考えられる。

主要地点における流量とDOとの関係を図-6に示す。上戸手地点（21km）と中津原地点（14km）では流量の増加に伴いDOも増加する傾向が見られるが、山手橋地点（9km）では流量が $5\text{ m}^3/\text{s}$ 以下でDOが逆に高くなっており、他の2地点と傾向を異にしている。これは、前述した河口堰での湛水の影響によると考えられる。

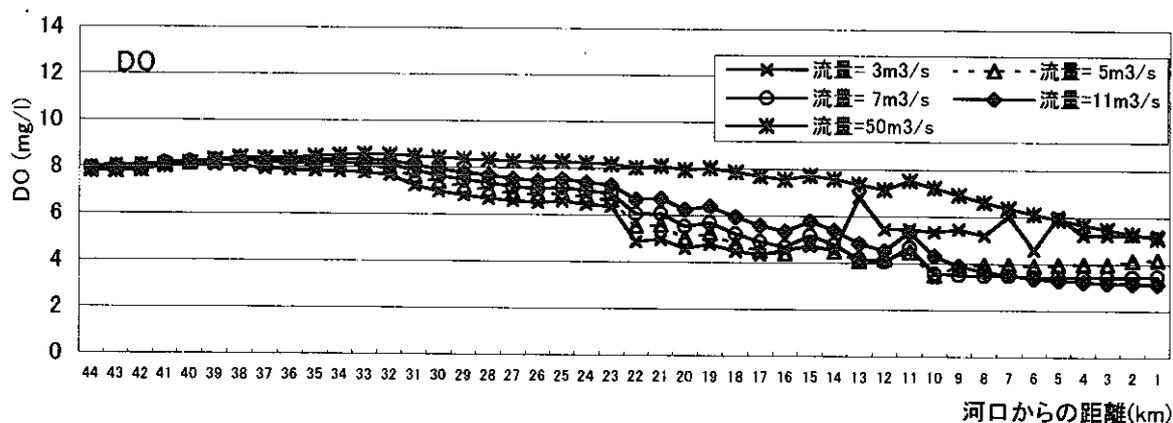


図-5 上流端流量を変化させた時の予測結果

Fig.5 Change of Longitudinal DO Distribution due to the Upstream Discharge Condition

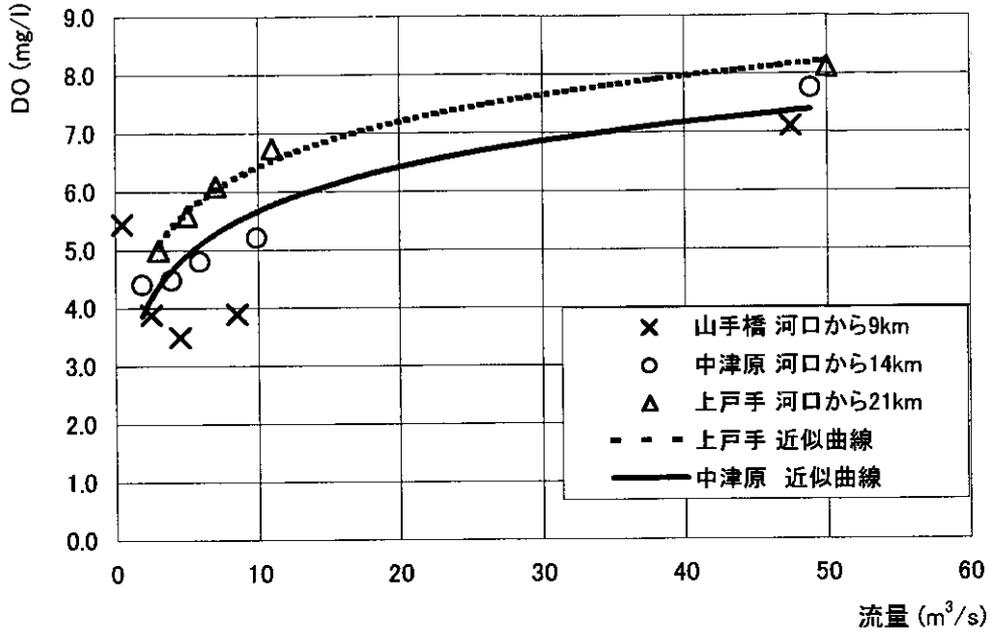


図-6 流量とDOの関係

Fig.6 Relationship Between River Discharge and DO

4-2 上流水質条件による水質変化

上流端DO（八田原ダム放流DO）を変化させた時の予測計算結果を図-7に示す。上流端DOの影響を受ける区間は流下距離約8 km まであり、それより下流には影響が及ばな

い。上流端DOが 10mg/l のときは過飽和の状況にあり、流下過程でDOは消費される。一方、5 mg/l、3 mg/l の時は再曝気でDOが供給される状況がシミュレートされている。

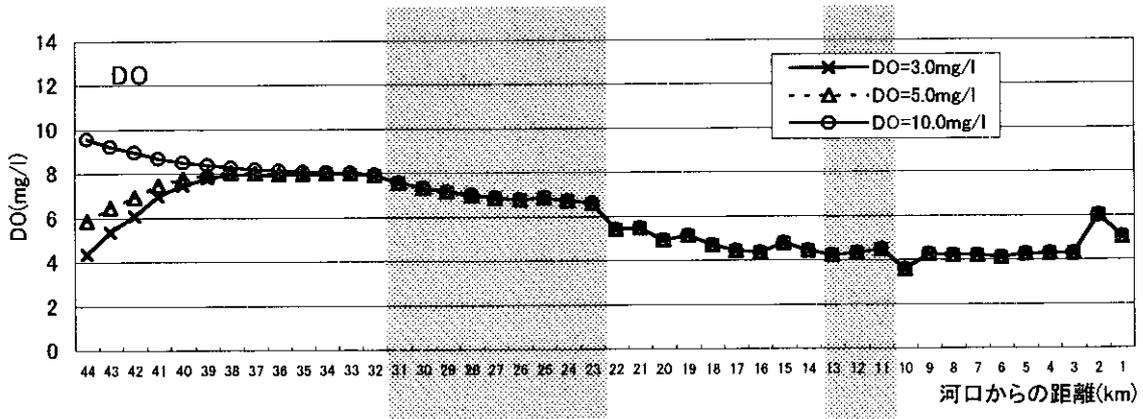


図-7 上流端DOを変化させた時の予測結果

Fig.7 Change of Longitudinal DO Distribution due to the Upstream DO Condition

また、上流端水温（八田原ダム放流水温）を変化させた時の予測計算結果を図-8に示す。上流端水温の影響は14km（流下距離30km）付近で収束している。上流端水温によるDO

への影響は、水温変化の影響が及んでいる14km（流下距離30km）付近までの区間でみられ、水温が高いほどDOは低くなっている。これは水温が高いほど飽和溶存酸素濃度低くなり、

かつ水中でのDO消費が盛んになることによるためと考えられる。

なお、上流端BOD水質、および支川から

のBOD流入負荷量を変化させた場合の予測計算も行ったが、DOへの影響はほとんど見られなかった。

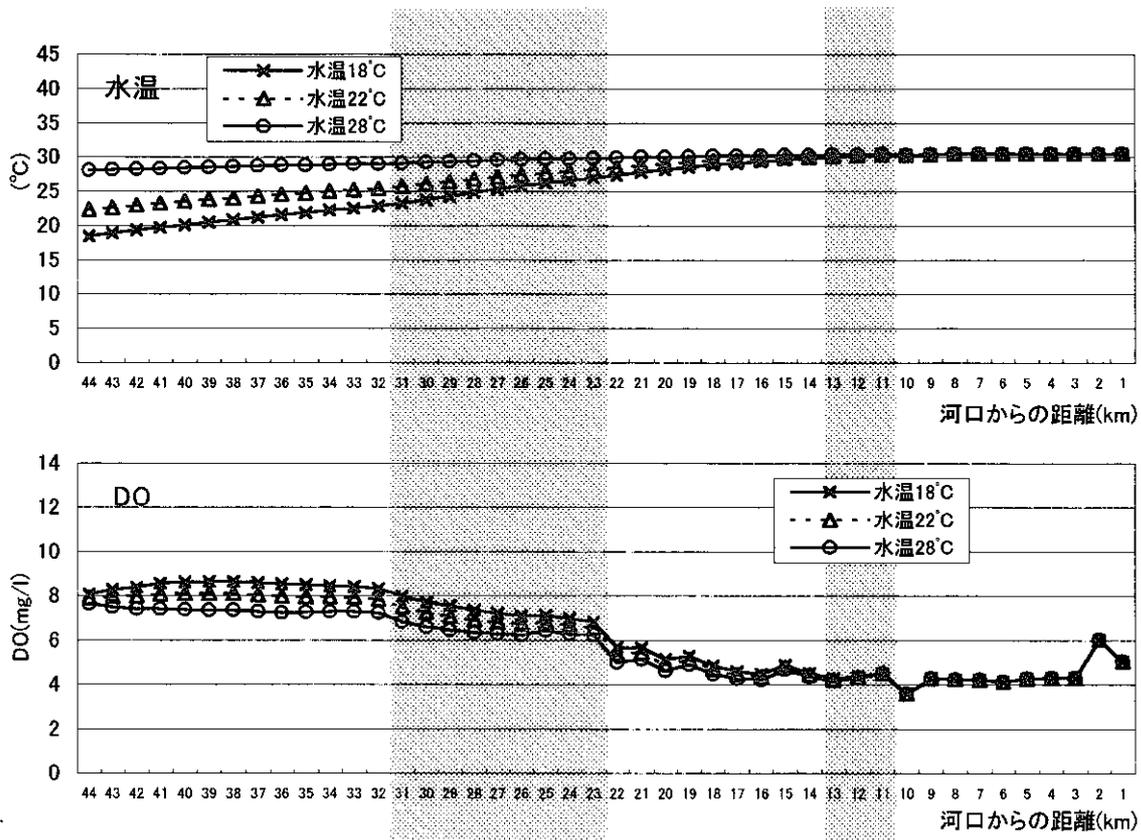


図-8 上流端水温を変化させた時の予測結果

Fig.8 Change of Longitudinal distribution of Water Temperature and DO due to the Upstream Water Temperature Condition

5. おわりに

水質からみた必要流量の設定の情報とするため、水生生物の生息等への影響を直接表す水質指標であるDOのシミュレーションを行った。水質モデルとしてQUAL2Eを用い、芦田川を対象として渇水時の水質シミュレーションモデルを同定した。同定された水質シミュレーションモデルにより、種々の流量、水質条件のもとでの渇水時水質シミュレーションを行い、流量とDOの関係、流下に伴うDOの変化、水温変化のDOへの影響について検討した。

主要な成果をまとめると以下となる。

1) 作成した渇水時の水質シミュレーションモ

デルにより、定常状態では実測結果を再現でき、非定常状態でも、DO濃度の再現性には問題があるが、日周変化の傾向は再現できる。

2) この水質シミュレーションモデルを用いて種々の流量条件や気象条件のもとでのDOを予測することができ、河川の生態系等への影響を考慮した水質からの必要流量設定のための情報を得ることができる。

一方、モデルの限界として、本モデルでは湛水域での夏季DOの上昇が十分に再現できない点が挙げられる。これは本モデルが順流部を対象としたものであり、湛水域では滞留時間が長いことから水中での生産・消費活動

がより活発となることによる。このため、本モデルと湛水域を対象とした水質モデルとを組み合わせることが考えられ、これは今後の課題とする。

最後に、本研究に際し有益な御助言を頂いた土木研究所下水道部田中水質研究室長、建設省河川局河川環境課ならびに中国地方建設局福山工事事務所調査設計第一課の各位に謝意を表します。

<参考文献>

- 1)財団法人リバーフロント整備センター：芦田川河川水環境検討業務報告書、1999年3月